

Niko Vahlman

EASE Evac -simulointiohjelman soveltaminen häätäkuulutusjärjestelmien puheenymmärrettä- vyyden suunnittelussa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

8.3.2016

Tekijä Otsikko	Niko Vahlman EASE Evac -simulointiohjelman soveltaminen hätäkuulutusjärjestelmien puheenymmärrettävyyden suunnittelussa
Sivumäärä Aika	25 sivua + 3 liitettä 8.3.2016
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähköinen talotekniikka
Ohjaajat	yliopettaja Kalle Kauraala ryhmäpäällikkö Aki Väänänen
<p>Tämän opinnäytetyn aiheena oli tutkia EASE Evac -simulointiohjelman käyttöä hätäkuulutusjärjestelmien puheenymmärrettävyyden suunnittelussa. Tavoitteena oli, että työn tekijä oppii soveltamaan simulointiohjelmää suunnittelussa perehtyen sen toimintaan sekä verraten simuloituja tuloksia jo toteutetulla järjestelmällä suoritettuihin mittauksiin.</p> <p>Työn alussa on esitelty äänifysiikan sekä puheensiirron teoriaa ja standardeja. Työn loppuosassa käsitellään EASE Evac -simulointiohjelman periaatteita, simulointia sekä kohteesta saatuja mittaustuloksia.</p> <p>Työn tulokset osoittavat Evacin olevan suhteellisen nopea ja luotettava simulointiohjelma, jonka käyttöönotto on helppoa, kunhan käyttäjä tuntee tietyt puheensiirron ja äänifysiikan lainalaisuudet sekä laskentaperiaatteet.</p>	
Avainsanat	simulointi, hätäkuulutusjärjestelmä

Author Title	Niko Vahlman EASE-Evac simulation software in the design of speech intelligibility of a voice evacuation system
Number of Pages Date	25 pages + 3 appendices 3rd March 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services
Specialisation option	Electrical Services
Instructors	Kalle Kauraala, Principal Lecturer Aki Väänänen, Team Manager
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to analyze the use of the EASE Evac simulation software when designing the speech intelligibility of a voice evacuation system. The goal was to study the simulation features of the software and to apply them in practice.</p> <p>At the start of the thesis, the theory regarding the physics of sound and speech transmission, which were a fundamental part in understanding the simulation software's parameters, were reviewed. Existing standards for voice evacuation systems, mainly the IEC-SFS-EN60849 were also studied. The simulation results were then compared with actual on-site speech intelligibility measurements for additional clarity. The results showed that the EASE Evac is a relatively quick and reliable simulation software to learn, considering the complicated nature of speech transmission.</p> <p>In conclusion, the necessary knowledge to operate the software in a reliable way was gathered, together with an understanding of the basic principles of the parameters of the software. The thesis can be used as a model on how to use EASE Evac in simple room simulations.</p>	
Keywords	simulation, voice evacuation system

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Äänifysiikan perusteet	2
2.1	Taajuus	2
2.2	Aallonpituus	2
2.3	Äänenvoimakkuus ja intensiteettitaso	3
2.3.1	Äänenvoimakkuus	3
2.3.2	Intensiteettitaso	4
2.4	Neliöllinen vaimenemislaki	4
2.5	Jälkikaiunta-aika	5
2.5.1	Sabinen yhtälö	5
2.5.2	Norris–Eyringin yhtälö	6
2.5.3	Absorptiokerroin	6
3	Puheensiirron fysiikka	7
3.1	Puheensiirtoindeksi	7
3.1.1	Modulaatiosiirofunktio	8
3.1.2	Signaali-kohinasuhde	10
3.2	Puheensiirtoindeksi yleisäänentoistojärjestelmille	11
3.3	Yleinen puheenymmärrettävyysasteikko	11
4	Hätäkuulutusjärjestelmien vaatimukset	11
4.1	Standardit	11
4.2	IEC-SFS-EN60849	12
5	EASE Evac	12
5.1	Yleistä	12
5.2	Ominaisuudet	13
5.3	Käyttöliittymä	14
5.4	Laskentaperiaatteet ja laskentatarkkuus	15
5.4.1	Laskentaperiaatteet	15

5.4.2	Laskentatarkkuus	16
6	Stockmann Itäkeskus	17
6.1	Kohteen esittely	17
6.2	Kohteen äänentoistojärjestelmä	17
6.2.1	Soittoasema	18
6.2.2	Kaiuttimet	18
7	Mallinnus	21
8	Mittaukset kohteessa	22
8.1	Mittalaitteet	22
8.2	Mittauspahtuma	23
8.3	Mittaus tulokset	23
9	Yhteenveto	24
	Lähteet	25

Liitteet

Liite 1. Simulaatioraportti

Liite 2. Mittaus pisteet

Liite 3. Mittaus tulokset

Lyhenteet

CIS	Common Intelligibility Scale, yleinen puheenymmärrettävyyssasteikko
DSP	Digital signal processing, digitaalinen signaalinkäsittely
MTF	Modulation transfer function, modulaationsiirtofunktio
S/N Ratio	Signal-to-noise ratio, signaali-kohina-suhde
SPL	Sound Pressure Level, äänenpainetaso
STI	Speech Transmission Index, puheensiirtoindeksi
STI-PA	Speech Transmission Index for Public Address Systems, puheensiirtaindeksi yleisäänentoistojärjestelmille

1 Johdanto

Työ tehtiin Granlund Oy:lle tarkoituksena tutkia EASE Evac -simulointiohjelman käyttöä hätäkuulutusjärjestelmän puheenymmärrettävyyden suunnittelussa. Hätäkuulutusjärjestelmän tarkoituksena on tehostaa ihmisten nopeaa ja järjestelmällistä siirtymistä hätätilanteissa. Suurissa rakennuksissa ja varsinkin julkisissa tiloissa, joissa vaaditaan hätäkuulutusjärjestelmää, yleisäänentoistojärjestelmä toimii yleensä myös hätäkuulutusjärjestelmänä. Tämä luo tiettyjä vaatimuksia järjestelmälle, jotka on asetettu standardeissa. Koska etenkin suurien rakennusten kuulutusjärjestelmien hinta voi kasvaa suhteellisen korkeaksi, on järjestelmän puheenymmärrettävyyden optimointi yksi tapa saada järjestelmästä sekä toiminnallisuudeltaan määräykset täyttävä ja luotettava että kustannuksiltaan järkevä.

Granlund Oy on vuonna 1960 perustettu talotekniikkasuunnittelun, kiinteistö-, energia- ja ympäristöasioiden konsultoinnin sekä ohjelmoinnin asiantuntijakonserni ja johtava toimija kaikilla palvelualoillaan Suomessa. Konsernissa työskentelee yli 500 asiantuntijaa, ja sen pääkonttori sijaitsee Helsingissä. [7]

2 Äänifysiikan perusteet

Fysiikan näkökulmasta ääni on luonteeltaan aaltoliikkeistä paineenvaihtelua joka etenee väliaineessa. Yleisimpänä väliaineena (ihmiselle) toimii ilma. Äänen etenemisnopeus on sidonnainen väliaineen ominaisuuksiin, tässä tapauksessa ilman lämpötilaan, paineeseen sekä kosteuteen.

2.1 Taajuus

Taajuus, jonka mittayksikkönä toimii hertsi (Hz), kuvastaa äänen korkeutta. Taajuuden määrittely tapahtuu mittauspisteen sekunnissa ohittavien ääniaaltojen lukumäärällä. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että vähäinen lukumäärä tuottaa matalan äänen, ja suuri korkean. Ihmisen korvan kuultavissa oleva taajuusalue on noin 20–20 000 Hz.

2.2 Aallonpituus

Aallonpituudella tarkoitetaan ääniaallossa esiintyvien huippujen välistä etäisyyttä, joka riippuu taajuudesta, sekä äänen nopeudesta. Äänen nopeus on noin 340 m/s normaaliissa sisälämpötilassa (+20 °C). Aallonpituuden vaikutus ilmenee käytännössä esimerkiksi, kun ääniaalto törmää esteeseen, jolloin matalan taajuuden aalto läpäisee todennäköisemmin kovatekstuurisen esteen, kun taas korkean taajuuden aalto vaimenee helpommin. Aallonpituus lasketaan kaavalla

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Kaava 1.

jossa λ on aallonpituus, m

c on äänen nopeus, m/s

f on äänen taajuus, Hz

2.3 Äänenvoimakkuus ja intensiteettitaso

2.3.1 Äänenvoimakkuus

Äänenvoimakkuutta mitataan äänenpainetasolla, jonka suhteellinen mittayksikkö on desibeli (dB). Koska ihmisen kuuloaisti ei toimi lineaarisesti, äänenpainetaso esitetään logaritmisella asteikolla. Äänenpaineen kaksinkertaistuminen tarkoittaa siis 6 dB:n nousua äänenpainetasossa, joka lasketaan kaavalla

$$SPL = 20 \log \frac{p}{p_0} \text{ Pa}$$

Kaava 2.

jossa SPL on äänenpainetaso, Pa

p on mitattu äänenpaine, Pa

p_0 on vertailuäänepaine 20 µPa

2.3.2 Intensiteettitaso

Äänenvoimakkuutta mitataan myös intensiteettitasolla, joka tarkoittaa ääniaallon kuljettamaa energiavirtaa mitattavan pinta-alan läpi ja jonka yksikkö on myös desibeli. Intensiteetin kaksinkertaistuminen tarkoittaa vastaavasti 3 dB:n nousua intensiteettitasossa. Intensiteettitason vertailuarvoksi on otettu $10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$, sen ollessa heikoin ihmisen korvan keskimääräisesti havaitsema ääni 2000–3000 Hz:n taajuudella. Intensiteettitason laskukaava on

$$I_L = 10 \log \frac{I}{I_0} \text{ Pa}$$

Kaava 3.

jossa I_L on äänen tehotaso, $\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$

I on mitattu intensiteetti

I_0 on vertailuintensiteetti $10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$

2.4 Neliöllinen vaimenemislaki

Kaiuttimia voidaan tässä työssä käsitellä pistemäisinä äänilähteinä, joille on ominaista äänen jakautuminen tasaisesti jokaiseen suuntaan. Käytännössä tämä tarkoittaa akustisen energian jakautumista kuvitellun pallopinnan muotoon. Pallon pinta-ala on verrannollinen sen säteen neliöön, joten etäisyyden kasvaessa kyseinen akustinen energia jakautuu suuremmalle alalle, mikä johtaa intensiteetin pienenemiseen suhteessa etäisyyden neliöön.

2.5 Jälkikaiunta-aika

Jälkikaiunta-aika tarkoittaa aikaa, jossa ääni vaimenee 60 desibeliä äänilähteen sammuttua. Jälkikaiunta-aika esitetään yleensä yksittäisenä arvona, jos se mitataan laajakaistaisena signaalina (20 Hz – 20 kHz), mutta koska se on taajuudesta riippuva, tarkempiin mittatuloksiin päästään mittaamalla kaiunta-aika taajuuskaistoittain (oktaavin, 1/3 oktaavin, 1/6 oktaavin välein jne.). Jälkikaiunta-aika on puheenymmärrettävyyden kannalta oleellinen, sillä pidemmällä kaiunta-ajalla puheenymmärrettävyys heikkenee, mikä on yleistä suurissa tiloissa joissa on vähän ääntä absorboivaa materiaalia.

Jälkikaiunta-aikaa voidaan laskea kahdella eri tavalla, Sabinen tai Norris–Eyringin yhtälöllä. Erona näissä kahdessa yhtälössä on se, että Norris–Eyringin -yhtälö on tarkempi huomattavan absorboivissa tiloissa kuin Sabinen. Esimerkiksi hypoteettisesti täydellisesti absorboivassa tilassa Sabinen yhtälö antaisi nolasta poikkeavia tuloksia, kun taas Norris–Eyringin yhtälön tulos olisi oikeaoppisesti nolla. [5]

2.5.1 Sabinen yhtälö

Kaavassa 4 esitetään Sabinen yhtälön periaate.

$$RT_{60} = \frac{0,161V}{S\alpha} \text{ s}$$

Kaava 4.

jossa RT_{60} on jälkikaiunta – aika, s

V on tilavuus, m³

S on pinta – ala, m²

α on absorptiokerroin

2.5.2 Norris–Eyringin yhtälö

Kaavassa 5 esitetään Norris–Eyringin yhtälön periaate.

$$RT_{60} = \frac{0,161V}{-S \ln(1 - \bar{\alpha})} \text{ s}$$

Kaava 5.

jossa RT_{60} on jälkikaiunta – aika, s

V on tilavuus, m³

S on pinta – ala, m²

$\bar{\alpha}$ on absorptiokertoimen painotettu keskiarvo

2.5.3 Absorptiokerroin

Absorptiokerroin materiaalille määritellään 0 ja 1 välille, ja sillä kuvataan osuutta äänestä, joka absorboituu materiaalin pintaan verrattuna osuuteen, joka kimpoaa takaisin tilaan. Täysin refleктоivan pinnan arvo olisi tällöin 0 ja täysin absorboivan pinnan 1. Esimerkkinä täysin absorboivasta, eli absorptiokertoimen 1 omaavasta, materiaalista voidaan pitää avonaista ikkunaa, josta ääni kulkee läpi.

3 Puheensiirron fysiikka

Puhe on itsessään signaalinsiirtoa, puhujalta (lähetin) kuulijalle (vastaanotin). Koska ihmiset yksilöinä eroavat toisistaan, yhtenevän kaavan löytäminen ilmiön käsittelemiseksi on haastavaa. Esimerkiksi puheen ymmärtäminen, jota tässä työssä pääasiallisesti käsitellään, on subjektiivinen kokemus, jota on käytännössä mahdoton yleistää yksittäiseen kaavaan. Puheensiirtoindeksi (STI) on tällä hetkellä vakioitunein tapa määrittellä informaationsiirtoa ymmärrettävässä muodossa, ajatellen tässä tapauksessa järjestelmävaatimuksia hätäkuulutusjärjestelmille.

3.1 Puheensiirtoindeksi

Puheensiirtoindeksi (STI) on yleisesti käytetty tunnusluku, joka kuvaa siirretyn puheen ymmärrettävyyttä. Se pohjautuu modulaatiosiirtofunktioihin (MTF), muuntaen haluttujen taajuuskaistojen MTF-arvot yhdeksi näennäiseksi signaali-kohinasuhteeksi, joka vastaavasti muunnetaan STI-lukuarvoksi. STI:n lukuarvot sijoittuvat välille 0–1, jossa 0 tarkoittaa olemattomasti ymmärrettävää, ja 1 täydellisesti ymmärrettävää puhetta. Yleisesti ottaen STI:n toivottava arvo olisi vähintään 0,5. Kuultavan eron subjektiivisessa puheenymmärrettävyydessä on pääsääntöisesti ilmoitettu olevan 0,03. [1]

3.1.1 Modulaatiosiirtofunktio

Modulaatiosiirtofunktio (MTF) tarkoittaa puhesignaalin taajuuskaistoittain lasketun verohäyremodulaation säilymistä tai muuttumista lähteen ja vastaanottimen välillä. Käytännössä tämä tarkoittaa lähtösignaalin heikkenemisen määrää. Taajuudelle F se lasketaan kaavalla

$$m(F) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(2\pi F \frac{RT_{60}}{13,8}\right)^2}} * \frac{1}{1 + 10^{(-S/N)/10}}$$

Kaava 6.

jossa $m(F)$ on modulaatiosiirtofunktio taajuudelle F

RT_{60} on jälkikaiunta – aika, s

S/N on signaali – kohinasuhde

Rajoittunut signaali-kohinasuhde heikentää modulaatiosiirtofunktiota kaikille taajuuksille, ja pitkä jälkikaiunta-aika vastaavasti korkeimmille modulaatiotaajuuksille. Modulaatiosiirtofunktiossa hyötynä on juurikin jälkikaiunnan ja ympäristön kohinan huomiointaminen yhdessä laskutoimituksessa.[1]

Modulaatiosiirtofunktio muunnetaan STI-arvoksi ottamalla 14 modulaatiotaajuuden amplitudit oktaavikaistalta (m - arvo), aloittaen 0,63 Hz:stä ja jatkaen aina 1/3 oktaavin välein 12,5 Hz:iin asti. Tämän jälkeen kyseiset arvot muutetaan yksitellen näennäiseksi signaali-kohina-suhteeksi, joka lasketaan kaavalla

$$\left(\frac{S}{N}\right) = 10 \log\left(\frac{m}{1-m}\right)$$

Kaava 7.

jossa $\left(\frac{S}{N}\right)$ on näennäinen signaali – kohina – suhde

m on modulaatiotaajuuden amplitudi, m – arvo

Näennäinen signaali-kohinasuhde lasketaan jokaiselle oktaavikaistalle, mikä tarkoittaa 98 m -arvoa. Seuraavaksi nämä arvot keskiarvotetaan, eli lasketaan yhteen ja jaetaan modulaatiotaajuuksien määrällä eli 14. Tämä johtaa 7 näennäiseen signaali-kohina-suhteeseen, 1 jokaista oktaavikaistaa kohden.

Kyseisistä arvoista täytyy vielä laskea painotettu keskiarvo, mikä tarkoittaa käytännössä sitä, että osa oktaavikaistoista saa suuremman ”painon” tuloksessa. Painotukset oktaavikaistoittain on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Oktaavikaistoittaiset painotukset

125 Hz	0,13
250 Hz	0,14
500 Hz	0,11
1 kHz	0,12
2 kHz	0,19
4 kHz	0,17
8 kHz	0,14

Taulukossa 1 ilmoitetuissa painotuksissa 2 kHz saa suurimman painotuksen, sillä keskitaajuuudet ovat puheen ymmärrettävyyden kannalta oleellisia.

Lopulta lasketut arvot muunnetaan yhdeksi STI-arvoksi, kaavalla 8

$$STI = \frac{\left(\frac{S}{N}\right) + 15}{30}$$

Kaava 8.

3.1.2 Signaali-kohinasuhde

Signaali-kohinasuhde (S/N Ratio) kuvaa kohinan ja vastaavien häiriöiden vaikutusta hyötysignaalin kuulemiseen. Sen lukuarvot ilmoitetaan desibeleissä hyöty- ja häiriösignaalin tehojen suhteena. Signaali-kohinasuhde desibeleissä lasketaan kaavalla

$$S/NR_{dB} = 10 \log_{10} \frac{P_s}{P_n} \text{ Pa}$$

Kaava 9.

jossa S/NR_{dB} on signaali – kohinasuhde, dB

P_s on signaaliteho, W

P_n on kohinateho, W

3.2 Puheensiirtoindeksi yleisäänentoistojärjestelmille

Puheensiirtoindeksi yleisäänentoistojärjestelmille (STI-PA) eroaa ”normaalista” siirtaindeksistä oleellisesti siinä, että STI-PA-laskennassa jokainen oktaavikaista moduloidaan kahdella taajuudella, F_1 ja F_2 , kuten tämän työn mittaustuloksissa tullaan edempänä esittämään. Hyötynä kyseisessä laskentatavassa on sen mittauksissa mahdollistama nopeus, sillä tarkan STI-mittauksen toteuttaminen vaatisi huomattavasti enemmän aikaa, eikä se yleensä ole käytännöllisesti katsoen julkisissa kohteissa mahdollista.

3.3 Yleinen puheenymmärrettävyyssasteikko

Yleinen puheenymmärrettävyyssasteikko (CIS) on referenssiasteikko puheensiirtoindeksille, joka pohjautuu matemaattiseen yhteyteen STI:n kanssa. Sen kaava (10) on

$$CIS = 1 + \log(STI)$$

Kaava 10.

4 Hätäkuulutusjärjestelmien vaatimukset

4.1 Standardit

Kuten muuallakin EU:ssa, Suomessa on hätäkuulutusjärjestelmiä koskevia standardeja, joiden tarkoituksena on selkeyttää sekä yhtenäistää järjestelmien toimintaa, samalla varmistaen, että järjestelmät täyttävät ennalta määritellyn laadun. IEC-SFS-EN60849 koskee koko järjestelmää ja on näistä järjestelmän suunnittelijan kannalta tärkein. Sen ohella voimassa ovat SFS-EN54-16, SFS-EN54-4 ja SFS-EN54-24, jotka koskevat pääsääntöisesti laitevalmistajia.

4.2 IEC-SFS-EN60849

Standardi IEC-SFS-EN60849 astui voimaan 1.1.2001 ja käsittää koko järjestelmän, sen suunnittelun, suorituskyvyn, käyttöönoton ja käytön. Sitä sovelletaan äänen vahvistus- ja jakelujärjestelmiin, joiden tarkoitus on edesauttaa ihmisten nopeaa siirtymistä hätätilanteissa.

Lähtökohtana standardissa on, että yksikään yksittäinen vika ei saa tehdä järjestelmästä toimintakyvytöntä. Tämä tarkoittaa käytännössä täysin valvottua järjestelmää, aina viimeiseen komponenttiin asti. Mikäli vika havaitaan, on vikatieto välitettävä automaattisesti käyttäjille. Järjestelmän täytyy myös käynnistää evakuointiviesti automaattisesti hälytyksen tapahtuessa.

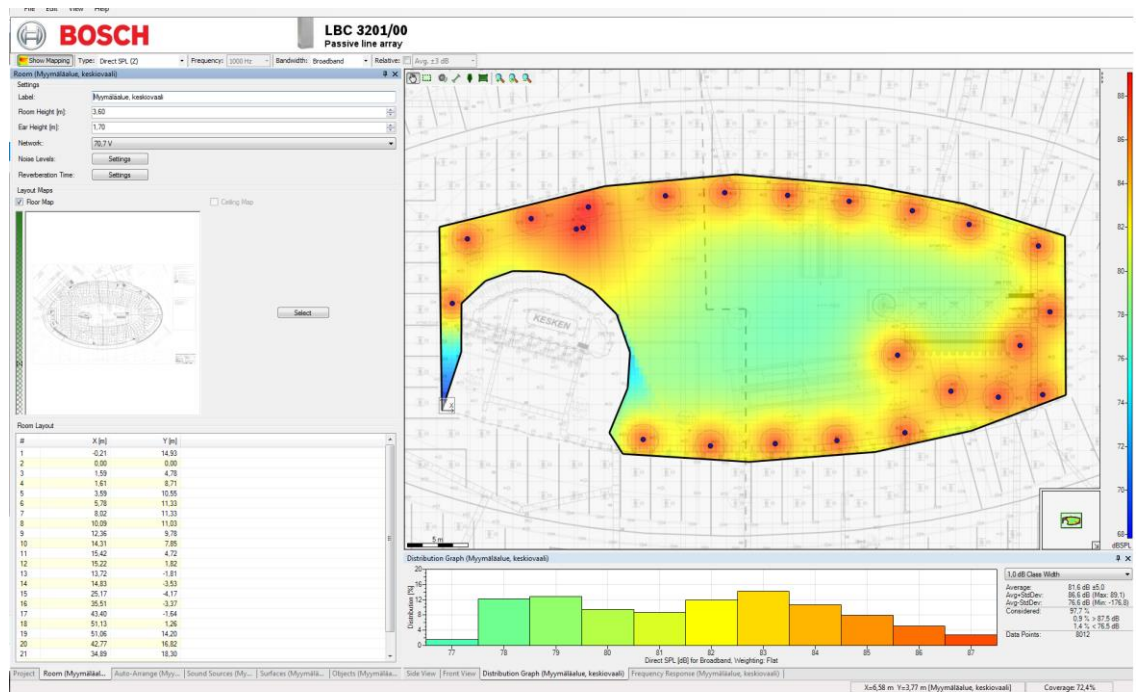
Standardin mukaan järjestelmän on myös pystyttävä tuottamaan taustamelun ylittävä äänenpaine, joka ylittää melutason vähintään 6–20 dB. Yli 120 dB:n äänenpaine ei kuitenkaan saa ylittyä. Vähimmäisarvo äänenpaineelle on 65 dB (yöpymistiloissa 75 dB).

Tämän työn kannalta ehkä tärkeimpänä, EN60849 määrittää puheenymmärrettävyydelle vähimmäisarvon, jonka tulee olla CIS-arvoltaan vähintään 0,7. [6]

5 EASE Evac

5.1 Yleistä

EASE Evac on Ahnert Feistel Media Groupin (AFMG) kehittämä simulointiohjelma ja osa EASE-tuoteperhettä. Se on isoveljeään EASEa (Enhanced Acoustic Simulator for Engineers) kevyempi 3D-simulaatiotyökalu, joka mahdollistaa tilojen nopean akustisen mallintamisen ja tarkastelun. Tiloja voidaan simuloida useampia kappaleita samaan tiedostoon ja jokaiselle tilan seinälle voidaan määrittää omat akustiset ominaisuudet. Kuvassa 1 esitetään EASE Evacin käyttöliittymä.



Kuva 1. EASE Evac -simulointiohjelman käyttöliittymä

5.2 Ominaisuudet

Evac mahdollistaa AutoCAD DFX-, Google SketchUp -tiedostojen tai EASE:n tilamallinnusten tuomisen tiloiksi. Koska se on yksinkertaistettumpi ja juuri hätäkuulutusjärjestelmille tehty työkalu, tilojen mallintaminen ilman valmiita malleja on myös nopeaa.

Tilaan voidaan syöttää yksilöllisiä kovaäänisiä ja torvikaiuttimia, tai äänilähteet voidaan järjestää automaattisesti käyttäjän määrittelemään rasteriin. Ohjelma hakee äänilähdedatan EASE GLL -formaattista. GLL-datatiedostot ovat valmistajien luomia omille kaiuttimilleen. Vaihtoehtoisesti AFMG on myös kehittänyt EASE SpeakerLab -nimisen ohjelmiston, jolla kyseisiä tietokantoja voidaan rakentaa käyttäjäkohtaisesti.

5.3 Käyttöliittymä

Ohjelman käyttöliittymä on melko yksinkertainen, sisältäen erillisiä välilehtiä mallinnus-parametrille. Aloituksena Project-välilehden alta ovat projektin aloitustiedot. Room-välilehden on mahdollisuus nimetä tila, asettaa kuuntelukorkeus, sekä jälkikaiunta-aika (mikäli se on tiedossa) ja melutaso. Room -välilehdellä esitetään myös tilan geometria ja sitä voidaan tarvittaessa myös muokata lisäämällä tai poistamalla kärkipisteitä.

Auto-Arrange-välilehdellä on mahdollisuus sijoittaa yhdentyyppisiä äänilähteitä valmiiseen rasteriin, joko heksagonaaliseen tai neliönmalliseen, sekä määritellä niiden limitäisyys annetussa pohjassa. Tästä on hyötyä, mikäli halutaan tehdä nopea alustava kartoitus tietyistä tilasta. Tarkempi äänilähteiden yksittäinen sijoittelu sijaitsee Sound Sources-välilehden alla, missä jokaiselle äänilähteelle määritetään avaruudellinen sijainti xyz-akselilla, sekä horisontaalinen ja vertikaalinen suuntauskulma. Tämän välilehden alla myös muokataan äänilähteiden tapituksia.

Mikäli jälkikaiunta-aikaa ei tiedetä, on jokaiselle seinäpinnalle asetettava omat materiaalisensa, mikä tapahtuu Surfaces-välilehden alla. Seiniin on myös mahdollista lisätä useampia eri materiaaleja, joiden laskenta pohjautuu niille asetettuun pinta-alaan. Tilaan on myös mahdollista simuloida geometrisia objekteja, esimerkiksi puukuutioita, joilla voidaan simuloida tilassa olevia kaappeja ynnä muita kalusteita. Huomioitavaa objektien käytössä on niiden laskenta, sillä Evac laskee objektit mukaan pelkästään tilavuutensa ja akustisten pintaominaisuuksiensa mukaan, eli niitä ei voi manuaalisesti sijoittaa tilassa tiettyyn paikkaan.

5.4 Laskentaperiaatteet ja laskentatarkkuus

5.4.1 Laskentaperiaatteet

Ohjelma simuloi äänen leviämisen tilan muodon ja asetettujen äänilähteiden mukaan. Tilan luomisessa oleellista on myös jälkikaiunta-aika, joka voidaan asettaa joko manuaalisesti, tai antaa ohjelman laskea se Norris–Eyringin yhtälön mukaan, pohjaten laskelmat tilaan asetettujen seinämateriaalien akustisiin ominaisuuksiin. Tulokset esitetään joko laajakaistaisena tai taajuusriippuvaisena kartoituksena, joihin käyttäjä voi itse määrittää taajuusalueen 1/3 oktaavin ja 3 oktaavin väliltä, absoluuttisena tai suhteellisen arvona, ja A-painotettuna tai ilman painotusta. Tuloksia voi tutkia myös jakauma-kaaviona.

Ulosajettavia tuloksarvoja ovat

- Direct SPL
- Total SPL
- S/N Ratio
- STI
- ALCons
- CIS

5.4.2 Laskentatarkkuus

Kuten kaikissa laskentaohjelmissa, tuloksien tarkkuus riippuu syötetyn datan tarkkuudesta. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että virheet tai epävarmuudet esimerkiksi kaiutindatassa tai huoneen geometriassa monistuvat ohjelman laskenta-algoritmin läpi ja tuottavat epävarmuutta tuloksissa. Tästä syystä Evacia käytettäessä on tiedettävä tietyt perusteet sen laskentatavoista, turhien virheiden välttämiseksi.

Ensisijaisesti on pidettävä huolta siitä, että äänilähteille luodut GLL-tiedostot ovat tarkkoja, sillä herkkyys, impedanssi sekä muun muassa suuntaukselliset ominaisuudet, muiden parametrien ohella vaikuttavat oleellisesti suoraan äänenpaineeseen, jonka ohjelma laskee. Myös äänilähteiden tarkan sijoittelun ja suuntauksen kanssa tulee olla huolellinen.

Ohjelma ottaa huomioon myös ilmanpaineen, -lämpötilan sekä -kosteuden vaikutukset leviävän ääniaallon amplitudin vaimenemisessa. Evac ei kuitenkaan ymmärrä ilman liikkeitä, esimerkiksi ilmanvaihdon aiheuttamia konvektiovirtauksia, tosin tämän vaikutus on käytännössä vähäinen.

6 Stockmann Itäkeskus

6.1 Kohteen esittely

Esimerkkikohteeksi työhön valikoitui Itäkeskuksen Stockmann. Ovaalinmallinen ja avoin myymälätila luo itsessään tiettyjä haasteita hätäkuulutusjärjestelmän puheenymmärrettävyyden varmistamiseksi, varsinkin tilojen ollessa täynnä erinäisiä hyllyjä ja muita myymäläkalusteita. Rakennuksessa on moniohjelmainen keskusradiotyyppinen äänentoistojärjestelmä, joka tukee vähintään 8:aa yhtäaikaista ohjelmaa. Tällä mahdollistetaan taustamusiikin, pakkosyötteisten normaalien kuulutuksien sekä hätäkuulutuksien välittäminen. Kuulutukset on jaettu 8 alueelle, EVAC-kuulutus mukaan lukien, joka kattaa kaikki alueet. Järjestelmä on yhdistetty paloilmoitinjärjestelmään, jolla toteutetaan palokellojen vaimennus manuaalisten hätä- ja evakuointikuulutusten ajaksi.

6.2 Kohteen äänentoistojärjestelmä

Kohteessa käytössä oleva digitaalinen BOSCH Praesideo -äänentoistojärjestelmä on ensimmäisiä digitaalisia yleisäänentoisto- ja äänievakuointijärjestelmiä [kuva 2]. Etuina analogisiin järjestelmiin verrattuna on järjestelmän optinen verkko, jolla saadaan aikaan häiriöttömämpi ääni sekä korkeampi redundanssitaso. Redundanttisen silmukoinnin luotettavuus on hyvä, sillä silmukan katkeaminen ei katkaise koko järjestelmän toimintaa. Praesideo-järjestelmä voidaan toteuttaa myös täysin valvottuna, mikä mahdollistaa vikojen nopean paikallistamisen. Järjestelmälle on myös myönnetty IEC60849- (Ääni-järjestelmät hälytyskäyttöön) ja EN54-16- (Äänihälytyksen hallinta- ja osoituslaitteet) sertifikaatti, eli se on EVAC-sertifioitu. [2]



Kuva 2. BOSCH Praesideo -äänentoistojärjestelmän soittoasema, keskuslaitteet ja graafinen käyttöliittymä.

6.2.1 Soittoasema

Soittoasemasta tehdään kuulutuksia tai toistetaan tallennettuja ääniviestejä. Se koostuu kaiuttimesta, mikrofoniasta, push-to-talk-näppäimestä, kolmesta tilamerkkivalosta sekä kuulokemikrofoni- ja verkkoliitännöistä. Asema sisältää myös sarjaliitännän lisänäppäimistöille, joita yhteen voidaan asentaa maksimissaan 16.

6.2.2 Kaiuttimet

Kohteessa käytetään yleisissä sekä myymälätiloissa pinta-asenteisia BOSCH LC1-UM06E8 -kaiuttimia [kuva 3]. Kaiuttimet ovat modulaarisia, 6W:n yksikartioisia katto-kaiuttimia. Ne on myös suunniteltu käytettäväksi äänievakuointijärjestelmissä ja ovat EN54-24-sertifioituja. Kaiuttimet kestävät käyttöä nimellisteholla sadan tunnin ajan IEC268-5 PHC -tehokapasiteettistandardien mukaisesti, ja niiden muoviosat ovat itsestammuvia.

Modulaaristen kaiuttimien etuna on niiden helppo asentaminen. LC1-sarjan kaiuttimet voidaan asentaa myös puoliupotteisina erityisen asennusvarusteen avulla, kuten tässä työssä tarkastellussa kohteen tilassa onkin tehty. [3]



Kuva 3. BOSCH LC1-UM06E8 -kaiutin

Tilaan on myös asennettu ohjelmoitavia LA3-VARI-BH -pilarikaiuttimia [kuva 4]. VARI-pilarit ovat aktiivilaitteita, jotka käyttävät niihin integroitua digitaalista signaalikäsittelyä ja D-luokan vahvistimia selkeän äänentoiston tuottamiseen erityisesti suurissa kaiku-
vissa tiloissa. Siinä missä normaalit pylväskaiuttimet suunnataan kokonaisuudessaan kuulijoita kohti, VARI-järjestelmä kohdistetaan elektroniikan avulla virtuaalisesti. Jokainen pilarin kaiutin ohjataan yksitellen, ja niille määritellään eritasoiset signaali-
viiveet, joka vastaa käytännössä kaiuttimien siirtämistä fyysisesti. Etuna myös normaaleihin pylväskaiuttimiin kyseisessä järjestelmässä on keilan suuntaustekniikka, jolla voidaan tuottaa sama äänentaso koko alueelle. Tämän VARI toteuttaa DSP-tekniikkaa hyödyn-
täen, joka säättää taajuusvasteen ja viiveen optimaaliseksi kuuntelualueeseen nähden. Suoran toiston kuuntelutasolle optimoinnin lisäksi järjestelmä pyrkii minimoimaan tois-
toa ei-toivotuille alueille, poistaen haitallisia sivukeiloja.

LA3- VARI-BH -järjestelmä on modulaarinen, ja sillä on kolme eri pituutta, 1,20, 2,40 ja 3,60 m, erilaisten tilojen vaatimuksia varten. Laite koostuu perusyksiköstä ja yhdestä tai kahdesta laajennusyksiköstä. Perusyksikkö pitää sisällään ohjaimen, DSP:n, virtalähteen, ja kahdeksan kaiutinta sekä tehovahvistinta. Tähän liitettävät laajennusyksiköt sisältävät saman määrän kaiuttimia ja tehovahvistimia, ilman muita komponentteja. [4]



Kuva 4. BOSCH LA3-VARI -perusyksikkö ja laajennukset sekä liitännät

7 Mallinnus

Mallinnus aloitettiin sijoittamalla kohteen arkkitehtipohja Evaciin referenssikuvaksi. Tämä on helpoin lähestymistapa tarkempien DFX- tai EASE-mallien puuttuessa. Kyseisen pohjan päälle piirrettiin tilan geometria, ja jokaiselle seinälle määritettiin oma materiaalinensa. Materiaalit asetettiin vastaaviksi todellisen kohteen kanssa ja annettiin Evacin laskea jälkikäiunta-ajat Eyringin kaavan mukaan. Kuuntelukorkeutena tässä tapauksessa käytettiin normaalia 1,7 m. Ilmanpaine sekä lämpötila-arvot asetettiin oletettuihin perusarvoihin.

Seuraavaksi oli vuorossa äänilähteiden sijoittelu. LC1-UM06E8-sarjan kaiuttimet on sijoitettu ovaalin ympärille tasaisella alakattojaolla, ja suunnattu suoraan alaspäin. Haasteelliseksi osoittautui edellä mainittujen VARI-pilareiden sisällyttäminen malliin. Evac ei nimittäin osaa käsitellä aktiivilaitteita laskennassaan, joten korvaavina äänilähteinä sovellettiin BOSCH LBC 3201/00 -mallin passiivipilareita, jotka on suunniteltu keskikokoisiin sekä suurempiin akustisesti haastaviin sisätiloihin. Kyseisillä passiivipilareilla saavutettiin vertailukelpoisia tuloksia, poikkeamien ollessa lähinnä noin 0,03 STI:n luokkaa verrattuna mittauksiin. Tämän eroavaisuuden vaikutus on käytännössä vähäinen, vaikkakin se on periaatteessa subjektiivisesti kuultavissa. Mallinnus myös antoi hieman huonomman tuloksen kuin itse mittaukset, minkä voidaan päätellä olevan VARI-pilarien hyvin toteutettujen säätöjen ansiota. Taulukossa 2 esitetään mallinnuksella tuotetut STI- ja niistä lasketut CIS-arvot. Mallinnuksen raportti on esitetty liitteessä 1.

Taulukko 2. STI- ja laskennalliset CIS-arvot mallinnetuista pisteistä

Mittapiste	STI	CIS
1	0,60	0,78
2	0,58	0,77
3	0,58	0,76
4	0,60	0,78
5	0,62	0,80

8 Mittaukset kohteessa

8.1 Mittalaitteet

Mittaukset toteutettiin NTi Audion Acoustilyzer AL1 -mittarilla. Acoustilyzer AL1 on ammattikäyttöön tarkoitettu mittalaite, jolla on mahdollista mitata moninaisia akustisia signaaleja. Mittalaitteen mikrofonia käytettiin MiniSPL-mikrofonia. Mittalaite täyttää 2003 IEC 60268-16 -standardin vaatimukset ja siinä on TNO-hyväksytty algoritmi (hollantilainen STI-PA tutkimusinstituutio). Puheenymmärrettävyyden lisäksi STI-PA-mittaus esittää myös vallitsevan äänenpainetasen (A-painotettu).

STI-PA-mittasignaali tuotettiin Nti Audion Minirator MR-PRO -signaaligeneraattorin avulla. Mittalaitteet on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Nti Acoustilyzer AL1, Minirator MR-PRO ja MiniSPL-mikrofoni.

8.2 Mittaustapahtuma

Mittaukset toteutettiin 1.6.2015. Signaaligeneraattorilla tuotettu signaali syötettiin järjestelmään Stockmannin Info-pisteen soittoaseman kautta, ja signaalin äänenpainetasoksi asetettiin 75 dB. Mittauspisteitä kyseiseen tilaan valittiin 5, sijoiteltuna eri puolille keskiovaalia. Mittauspisteet on esitetty liitteessä 2.

8.3 Mittaustulokset

Mittaustuloksissa on esitetty mittapistekohtaiset STI-PA-arvot sekä niistä lasketut CIS-arvot. Mittaustulokset on esitetty liitteessä 3.

Tuloksien pohjalta voidaan todeta mallinnuksen olevan riittävän lähellä todellisuutta, ottaen huomioon mittapisteiden sijainnin pääsääntöisesti VARI-pilareiden vaikutusalueella, mikä myös hyvinkin todennäköisesti aiheutti suurimmat poikkeamat tuloksissa. Järjestelmä kuitenkin ylittää kirkkaasti standardin asettaman minimivaatimuksen CIS-arvossa jokaisessa pisteessä, joten sen voidaan todeta olevan tilan luonteeseen nähden hyvin suunniteltu.

9 Yhteenveto

Tässä työssä käsiteltiin EASE Evac -simulointiohjelmaa puheenymmärrettävyyden suunnittelussa hätäkuulutusjärjestelmille. Puheenymmärrettävyys on hätäkuulutusjärjestelmän toimivuuden kannalta yksi oleellisimpia järjestelmäkriteerejä, jonka suunnittelussa varsinkin suuremmissa julkisissa tiloissa on oltava huolellinen. Työn pohjalta teki-
jälle muodostui käsitys järjestelmän standardi- ja kaiutinvaatimuksista, joiden toteutusta mahdollistetaan riittävän tarkalla 3D-mallintamisella.

Vaikka Evac on suhteellisen nopea yksinkertaisten tilojen mallintamiseen, on silti tarpeellista tehdä kohdekohtainen arvio siitä, onko tilat mahdollista mallintaa riittävällä tarkkuudella itse Evacilla, vai vaativatko esimerkiksi akustisesti haastavammat tilat suunnittelua laajemmalla skaalalla, esimerkiksi EASElla. Myös huomionarvoinen asia on sen rajoittuminen passiivilaitteisiin, joka tässä työssä aiheutti päänvaivaa VARI-pilarien kanssa. Vastaavanlaisia ratkaisuja tulevaisuudessa kohdatessa on helpompi kääntyä esimerkiksi EASE Speakerlabin puoleen.

Työn oppimistavoitteet täyttyivät hyvin, antaen tekijälle valmiudet soveltaa EASE Evac -simulointiohjelmaa akustisesti suhteellisen yksinkertaisten tilojen ja järjestelmien mallintamiseen.

Lähteet

1. Steeneken, Herman J.M. and Houtgast, Tammo. 2002. Basics of the STI-measuring method. Verkkodokumentti. Researchgate.
https://www.researchgate.net/publication/252224634_Basics_of_the_STI-measuring_method Luettu 25.07.2015
2. BOSCH Praesideo – Digital Public Address and Emergency Sound System. Katalogi. Verkkodokumentti.
http://us.boschsecurity.com/us_product/05_news_and_extras_2/01_productnews_2/07_productnews_public_address_1/public_address Luettu 23.07.2015
3. BOSCH LC1 Modular Ceiling Loudspeaker Range. Katalogi. Verkkodokumentti.
http://us.boschsecurity.com/us_product/05_news_and_extras_2/01_productnews_2/07_productnews_public_address_1/public_address Luettu 23.07.2015
4. BOSCH VARI- Directional Array. Katalogi. Verkkodokumentti.
http://us.boschsecurity.com/us_product/05_news_and_extras_2/01_productnews_2/07_productnews_public_address_1/public_address Luettu 23.07.2015
5. Carvalho. António Pedro O. 1995. The use of the Sabine and Eyring reverbation time equations to churches. 129th meeting of the Acoustical Society of America, Washington DC, May 30-June 03, 1995. Verkkodokumentti. Acoustical Laboratory, College of Engineering, University of Porto. <http://paginas.fe.up.pt/~carvalho/asa129.pdf> Luettu 27.07.2015
6. IEC-SFS-EN60849. 2001. Äänijärjestelmät hätätilannekäyttöön, Suomen Standardisoimisliitto SFS
7. Granlund yhtiöesittely. 2016. Verkkodokumentti. Granlund Oy. <
www.granlund.fi/yhtiosta/> Luettu 2.2.2016

Simulaatioraportti

Stockmann Itäkeskus



Niko Vahlman
Granlund Oy

2. helmikuuta 2016

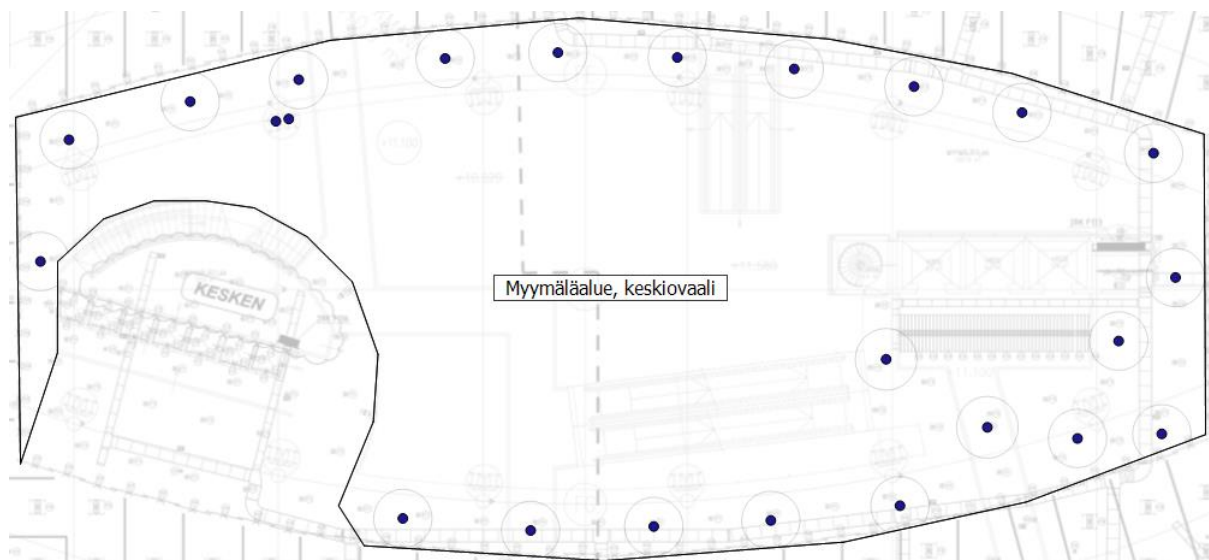
Project Information

Title:	Stockmann Itäkeskus
Author:	Niko Vahlman
Company:	Granlund Oy
Temperature:	20,0°C
Pressure:	Standard (1010,0 hPa)
Humidity:	Standard (60%)
Mapping:	STI, Broadband
Input Signal Type:	Program (IEC 60268)
Calculation Accuracy:	Fast Approximation

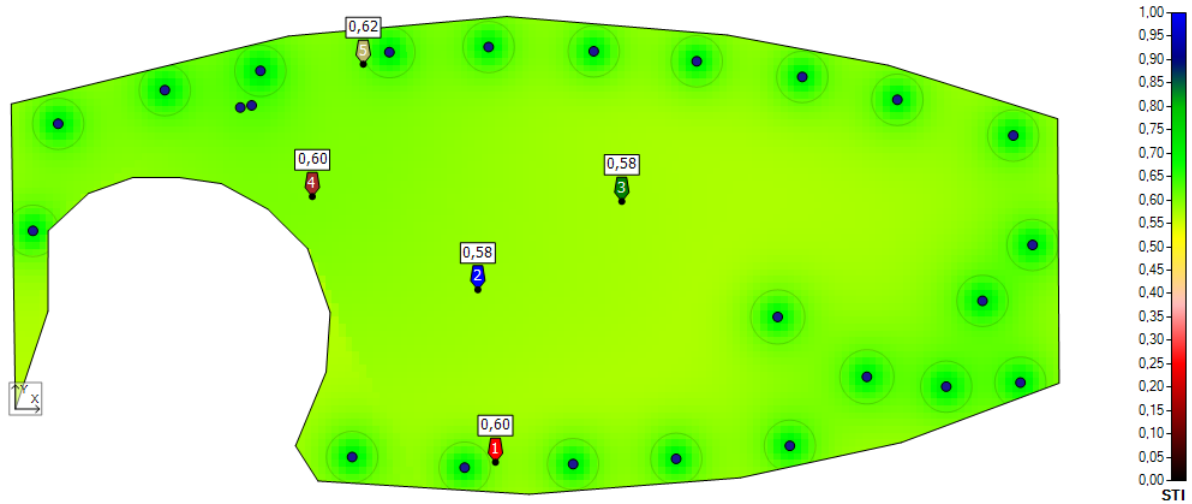
Sound Sources Summary

Amount	Type
22	LC1-UM06E8 (Bosch)
2	LBC 3201/00 (Bosch)

Layout Overview



Room: Myymäläalue, keskiovaali



Label:	Myymäläalue, keskiovaali
Room Height:	3,60 m
Ear Height:	1,70 m
Network Voltage:	70,7 V
Power Consumption:	48W

Sound Sources Summary

Amount	Type
22	LC1-UM06E8 (Bosch)
2	LBC 3201/00 (Bosch)

Room Layout

Vertex Nr.	X [m]	Y [m]
1	-0,21	14,93
2	0,00	0,00
3	1,59	4,78
4	1,61	8,71
5	3,59	10,55
6	5,78	11,33
7	8,02	11,33
8	10,09	11,03
9	12,36	9,78
10	14,31	7,85
11	15,42	4,72
12	15,22	1,82
13	13,72	-1,81
14	14,83	-3,53
15	25,17	-4,17
16	35,51	-3,37
17	43,40	-1,64
18	51,13	1,26
19	51,06	14,20
20	42,77	16,82
21	34,89	18,30
22	24,08	19,21
23	13,37	18,25

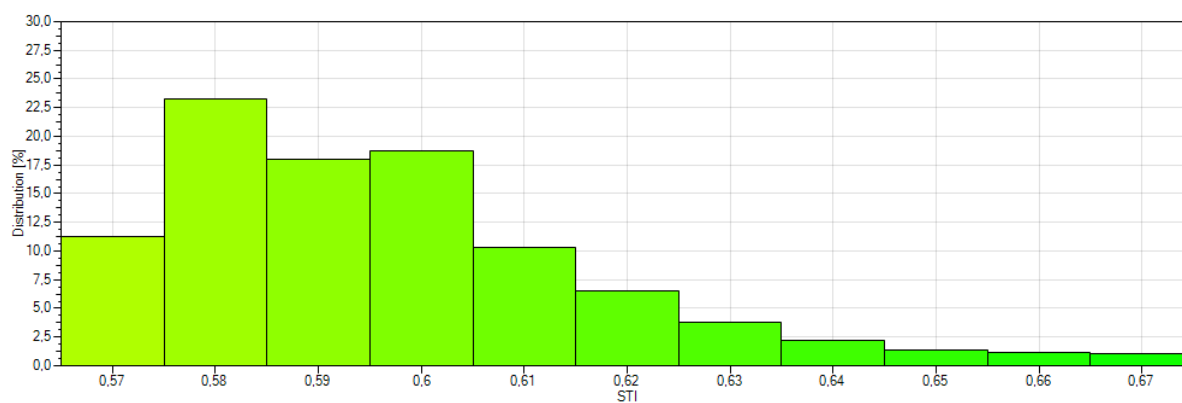
Reverberation Time

Frequency Band	Reverberation Time (Eyring)
100	1,44 s
125	1,44 s
160	1,38 s
200	1,32 s
250	1,26 s
315	1,23 s
400	1,20 s
500	1,17 s
630	1,16 s
800	1,15 s
1000	1,14 s
1250	1,13 s
1600	1,11 s
2000	1,09 s
2500	1,09 s
3150	1,08 s
4000	1,06 s
5000	1,01 s
6300	0,93 s
8000	0,82 s
10000	0,67 s

Sound Sources

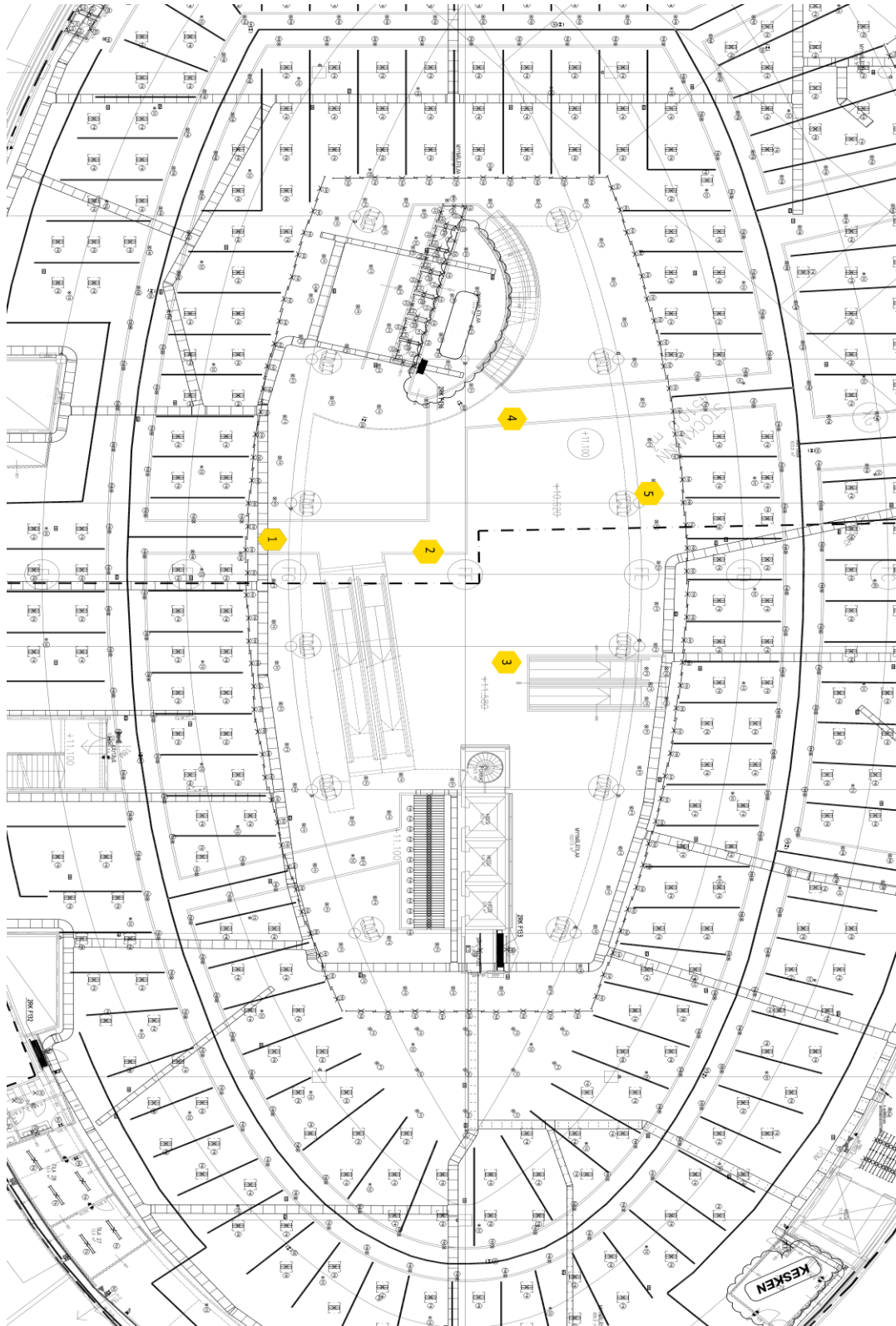
Nr.	Mounting	Type	X [m]	Y [m]	Z [m]	Hor [°]	Ver [°]	Tap Settings
1	Ceiling	LC1-UM06E8	12,00	16,55	3,50	0,0	-90,0	1.5W (70V 6W)
2	Ceiling	LC1-UM06E8	7,32	15,61	3,50	0,0	-90,0	1.5W (70V 6W)
3	Ceiling	LC1-UM06E8	2,09	13,96	3,50	0,0	-90,0	1.5W (70V 6W)
4	Ceiling	LC1-UM06E8	18,32	17,46	3,50	0,0	-90,0	1.5W (70V 6W)
5	Ceiling	LC1-UM06E8	23,18	17,72	3,50	0,0	-90,0	1.5W (70V 6W)
6	Ceiling	LC1-UM06E8	28,33	17,50	3,50	0,0	-90,0	1.5W (70V 6W)
7	Ceiling	LC1-UM06E8	33,38	17,01	3,50	0,0	-90,0	1.5W (70V 6W)
8	Ceiling	LC1-UM06E8	38,55	16,25	3,50	0,0	-90,0	1.5W (70V 6W)
9	Ceiling	LC1-UM06E8	43,21	15,13	3,50	0,0	-90,0	1.5W (70V 6W)
10	Ceiling	LC1-UM06E8	48,88	13,38	3,50	0,0	-90,0	1.5W (70V 6W)
11	Ceiling	LC1-UM06E8	49,83	8,03	3,50	0,0	-90,0	1.5W (70V 6W)
12	Ceiling	LC1-UM06E8	49,24	1,29	3,50	0,0	-90,0	1.5W (70V 6W)
13	Ceiling	LC1-UM06E8	45,60	1,09	3,50	0,0	-90,0	1.5W (70V 6W)
14	Ceiling	LC1-UM06E8	41,71	1,57	3,60	0,0	-90,0	1.5W (70V 6W)
15	Ceiling	LC1-UM06E8	47,38	5,29	3,50	0,0	-90,0	1.5W (70V 6W)
16	Ceiling	LC1-UM06E8	37,35	4,50	3,60	0,0	-90,0	1.5W (70V 6W)
17	Ceiling	LC1-UM06E8	37,94	-1,80	3,50	0,0	-90,0	1.5W (70V 6W)
18	Ceiling	LC1-UM06E8	32,37	-2,44	3,50	0,0	-90,0	1.5W (70V 6W)
19	Ceiling	LC1-UM06E8	27,32	-2,70	3,50	0,0	-90,0	1.5W (70V 6W)
20	Ceiling	LC1-UM06E8	22,01	-2,87	3,50	0,0	-90,0	1.5W (70V 6W)
21	Ceiling	LC1-UM06E8	16,50	-2,35	3,50	0,0	-90,0	1.5W (70V 6W)
22	Ceiling	LC1-UM06E8	0,86	8,72	3,50	0,0	-90,0	1.5W (70V 6W)
23	Ceiling	LBC 3201/00	11,57	14,86	3,60	-29,9	-5,0	15W (100V 60W)
24	Ceiling	LBC 3201/00	11,02	14,76	3,60	-92,9	-7,9	15W (100V 60W)

Distribution



Average:	0,60 ±0,03
Average - Std. Dev.:	0,62
Average + Std. Dev.:	0,57
Data Points:	8012

Mittauspisteet



Mittaustulokset

Mittapiste 1					Mittapiste 2				
Mic sensitivity:	20,00	mV/Pa			Mic sensitivity:	20,00	mV/Pa		
STI-PA:	0,65	STI			STI-PA:	0,63	STI		
CIS:	0,81	CIS			CIS:	0,80	CIS		
f(Hz)	LEQ(dB)	MF1	MF2	State	f(Hz)	LEQ(dB)	MF1	MF2	State
8000	39,5	0,77	0,43	OK	8000	36,2	0,67	0,40	OK
4000	54,3	0,98	0,72	OK	4000	49,6	0,88	0,61	OK
2000	59,8	0,91	0,57	OK	2000	55,5	0,81	0,49	OK
1000	62,2	0,80	0,10	OK	1000	62,8	0,85	0,54	OK
500	70,5	1,00	0,71	OK	500	69,7	0,94	0,76	OK
250	72,3	0,69	0,55	OK	250	74,6	0,90	0,40	OK
125	59,9	0,65	0,34	OK	125	65,9	0,67	0,44	OK
Mittapiste 3					Mittapiste 4				
Mic sensitivity:	20,00	mV/Pa			Mic sensitivity:	20,00	mV/Pa		
STI-PA:	0,57	STI			STI-PA:	0,67	STI		
CIS:	0,76	CIS			CIS:	0,82	CIS		
f(Hz)	LEQ(dB)	MF1	MF2	State	f(Hz)	LEQ(dB)	MF1	MF2	State
8000	34,3	0,69	0,25	OK	8000	40,6	0,92	0,67	OK
4000	47,6	0,80	0,62	OK	4000	50,6	0,92	0,73	OK
2000	53,5	0,74	0,32	OK	2000	56,6	0,88	0,47	OK
1000	59,6	0,69	0,38	OK	1000	61,2	0,79	0,30	OK
500	67,1	1,01	0,45	OK	500	69,6	0,88	0,75	OK
250	74,0	0,98	0,51	OK	250	79,4	0,91	0,94	OK
125	66,5	0,48	0,27	OK	125	74,0	1,17	0,71	OK
Mittapiste 5									
Mic sensitivity:	20,00	mV/Pa							
STI-PA:	0,62	STI							
CIS:	0,79	CIS							
f(Hz)	LEQ(dB)	MF1	MF2	State					
8000	38,5	0,67	0,22	OK					
4000	52,4	0,53	0,48	OK					
2000	58,0	0,84	0,49	OK					
1000	63,6	0,96	0,49	OK					
500	72,1	0,86	0,79	OK					
250	72,2	1,05	0,68	OK					
125	64,1	0,77	0,49	OK					